

الفصل الأول

١ التيار الكهربى - قانونه أوم

في السنوات السابقة تم دراسة الكهربائية التيارية .
 نسترجع منها بعض المفاهيم الرئيسية وهى :
 (شدة التيار I - فرق الجهد V - المقاومة الكهربائية R)

• التيار الكهربى

فيض من الشحنات الكهربائية تسرى
 عبر الموصلات .

- مرور التيار الكهربى فى الموصلات المعدنية يعتمد على
 وجود إلكترونات حرة تتحرك داخل الموصلات .

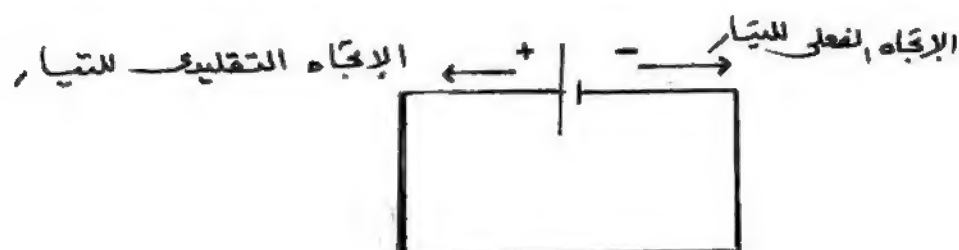
- المواد العازلة لا توجد بها وفرة من الإلكترونات الحرة .

• الاتجاه التقليدى للتيار :

- إقباء التيار من القطب الموجب إلى القطب السالب
 خارج المصدر .

• الاتجاه الفعلى للتيار :

- إقباء تيار الإلكترونات من القطب السالب إلى
 القطب الموجب خارج المصدر .



شدة التيار الكهربى I

كمية الكهرباء المارة خلال مقطع من موصل فى زمن قدرة ثانية.

$$I = \frac{Q}{t}$$

Q كمية الكهرباء وتقاس بـ الكولوم C

t الزمن يقاس بوحدة الثانية S

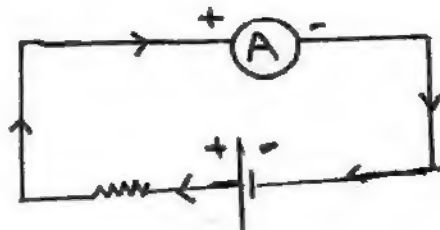
I شدة التيار وتقاس بوحدة الأمبير A ويكافى C/S

لاحظ قولنا أن : شدة التيار المار فى موصل = 5A .
يعنى ذلك أن كمية الكهرباء التى تمر خلال مقطع من الموصل
فى الثانية الواحدة = 5C .

الأمبير : شدة التيار الناتج عن سريان كمية من الكهرباء
مقدارها كولوم خلال مقطع من موصل فى زمن قدره 1ث

الكولوم : كمية الكهرباء التى عند مرورها خلال مقطع من موصل
فى زمن قدره ثانية ينتج عنها تيار شدته 1 أمبير.

* الجهاز المستخدم لقياس شدة التيار المار فى الدائرة الكهربائية هو الأمبير
يوصل فى الدائرة الكهربائية على التوالى . ورمزه A .



* يتم حساب عدد الإلكترونات N الحارة عبر مقطع معين من الموصل
من العلاقة $(N = \frac{Q}{e})$

مثال
احسب عدد الإلكترونات التي تمر عبر مقطع ما في موصل
من زمن قدره 1s إذا كانت شدة التيار الحار في
الدائرة 20A وشحنة الإلكترون $1.6 \times 10^{-19} C$.

$$N = ? \quad t = 1s \quad I = 20A \quad e = 1.6 \times 10^{-19} C$$

$$\therefore I = \frac{Q}{t} \quad \therefore Q = It = 20 \times 1 = 20C$$

$$\therefore N = \frac{Q}{e} = \frac{20}{1.6 \times 10^{-19}} = 1.25 \times 10^{20} \text{ electrons}$$

فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين V

مقدار الشغل المبذول لنقل كمية من الكهرباء مقدارها كولوم
من إحدى النقطتين إلى الأخرى.

• لا يمر تيار من نقطة داخل موصل إلى نقطة أخرى
إلا إذا كان بينهما اختلاف في الجهد الكهربائي (أي فرق جهد)

$$V = \frac{W}{Q} \quad \text{من التعريف السابق}$$

W الشغل المبذول يقاس بـ الجول J
 Q كمية الكهرباء تقاس بـ الكولوم C

V فرق الجهد يقاس بـ الفولت V ويكافئ جول/كولوم ③

ما معنى قولنا أن : فرق الجهد بين نقطتين = 5 فولت .

يعنى ذلك أن مقدار الشغل المبذول لنقل كمية كهربية مقدارها كولوم من إحدى النقطتين للنقطة الأخرى = 5 جول .

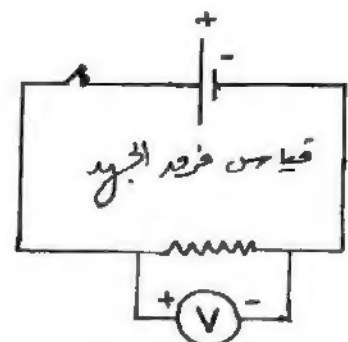
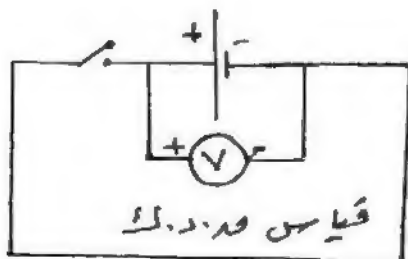
القوة الدافعة الكهربائية لمصدر V_0

مقدار الشغل الكلى المبذول لنقل كمية كهربية مقدارها كولوم داخل وخارج المصدر من الدائرة الكهربائية .

أو فرق الجهد بين طرفي (قطبي) العمود الكهربي . في حالة عدم مرور تيار كهربي في الدائرة (المفتاح مفتوح) .

ما معنى قولنا أن : القوة الدافعة الكهربائية لمصدر = 5 فولت .
يعنى ذلك أن مقدار الشغل الكلى المبذول لنقل كمية من الكهرباء قدرها كولوم داخل وخارج المصدر = 5 جول .

* يقاس فرق الجهد و القوة الدافعة الكهربائية بجهاز الفولتميتر V^+ و يوصل في الدائرة على التوازي بين طرفي الموصل (لقياس فرق الجهد) - و يوصل على التوازي بين طرفي العمود الكهربي ودائرتهم مفتوحة (لقياس V_0 د.ك) .



المقاومة الكهربائية R

الممانعة التي يلقاها التيار الكهربى عند مروره من الموصل .

أو النسبة بين فرق الجهد بين طرفي الموصل وشدة التيار المار فيه .

$$R = \frac{V}{I}$$

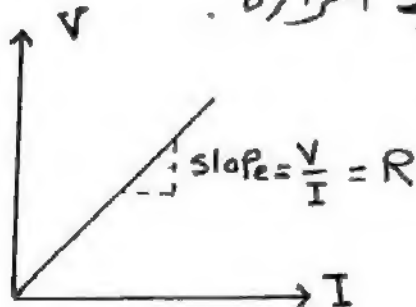
* وحدة قياس المقاومة أوم Ω وتكافئ (فولت/أمبير) $\frac{V}{A}$.
- الجهاز المستخدم لقياس المقاومة الأوميتير .

- تعتبر المقاومة الكهربائية للفلزات صغيرة جداً لوفرة الإلكترونات الحرة بها . وتعتبر مقاومة الزجاج وكبريتيد النادميوم وكبريتيد الفارميسيد والمطاط كبيرة . لعدم توافر الإلكترونات الحرة بها .

- المقاومة نوعان
① مقاومة ثابتة يرمز لها في الدائرة \sim
② مقاومة متغيرة يرمز لها في الدائرة \sim مستطوي

قانون أوم

تناسب شدة التيار المار من موصل طردياً مع فرق الجهد بين طرفيه . عند ثبوت درجة الحرارة .



(التمثيل البياني للعلاقة بين I, V)
قانون أوم

⑤

مقاومة موصل يسمح بمرور تيار شدته I أمبير . عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه V فولت .

الأوم

مادني قولنا n : النسبة بينه فزود الجهد بينه طرزي موصل
ورشة التيار الخارجيه 10 V/A .

- يعني ذلك ان مقاومة الموصل $= 10 \Omega$.

استنتاج المقاومة الكهربائية لموصل :

* تتناسب المقاومة الكهربائية لموصل طردياً مع طول الموصل $R \propto l$

* تتناسب المقاومة الكهربائية لموصل عكسياً مع مساحة مقطع الموصل $R \propto \frac{1}{A}$

$$\therefore R \propto \frac{l}{A}$$

$$\therefore R = \text{constant} \times \frac{l}{A}$$

$$\therefore R = \rho \frac{l}{A}$$

$$\text{طول الموصل} \times \frac{\text{المقاومة النوعية}}{\text{مساحة مقطعه}} = \text{مقاومة الموصل}$$

← العوامل التي تتوقف عليها المقاومة الكهربائية لموصل (عند شدة درجة الحرارة)

① طول الموصل (طردي) ② مساحة مقطع الموصل (عكسي)

③ المقاومة النوعية للموصل (نوع مادة الموصل) .

المقاومة النوعية ρ

مقاومة موصل طول 1 m ومساحة مقطعه 1 m^2
عند درجة حرارة معينة .

* تنقيح المقاومة النوعية لمادة موصل من العلاقة $\rho_e = \frac{R \cdot A}{l}$

وحدة قياس المقاومة النوعية (أوم.متر) $\Omega \cdot m$

- المقاومة النوعية صفة مميزة للمادة . لأنها تتغير بتغير نوع مادة الموصل .

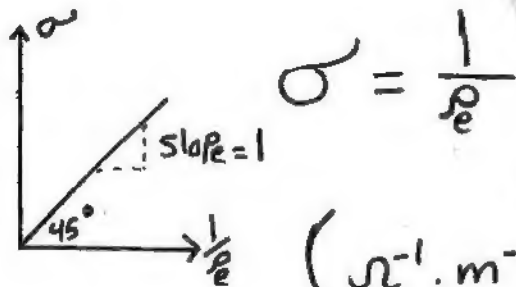
* العوامل التي تتوقف عليها المقاومة النوعية :

① نوع مادة الموصل ② درجة حرارة الموصل .

التوصيلية الكهربائية (معامل التوصيل الكهربائي)

مقلوب المقاومة النوعية للمادة .

أو مقلوب مقاومة موصل طول $1m$ ومساحة مقطعه $1m^2$ عند درجة حرارة معينة .



* التوصيلية الكهربائية خاصية مميزة للمادة

- وحدة قياس التوصيلية الكهربائية $(\Omega^{-1} \cdot m^{-1})$

* العوامل التي تتوقف عليها التوصيلية الكهربائية :

① نوع مادة الموصل ② درجة حرارة الموصل .

← يستخدم النحاس من صناعة كابلات نقل الكهرباء .

” لأنه المقاومة النوعية للنحاس صغيرة . وبالتالي تكون مقاومة الأسلاك المصنوعة منه صغيرة حيث $R \propto \rho$. أي أن التوصيلية الكهربائية للنحاس كبيرة .

آلية عمل

① تسمح بعض المواد بتوصيل التيار الكهربائي بينما البعض الآخر عازل للكهرباء.

* لأنه المواد التي تحتوي على وفرة من الإلكترونات الحرة كالمعادن تسمح بمرور التيار الكهربائي. بينما البعض الآخر لا يحتوي على إلكترونات حرة فلا يسمح بمرور التيار الكهربائي.

② تزداد مقاومة موصل بزيادة طوله.

* لأن المقاومة تتناسب طردياً مع طول الموصل تبعاً للعلاقة $R = \rho \frac{l}{A}$

③ معامل التوصيل الكهربائي للنحاس كبير.

* لأن المقاومة النوعية للنحاس صغيرة.

④ التوصيلية الكهربائية لمادة موصل خاصية فيزيائية مميزة لها.

* لأن التوصيلية الكهربائية لمادة الموصل تساوي مقلوب المقاومة النوعية للمادة والتي لا تتغير إلا بتغير نوع المادة عند ثبوت درجة الحرارة.

⑤ تزداد مقاومة الموصل بارتفاع درجة الحرارة.

* لأن ارتفاع درجة الحرارة يعمل على زيادة سرعة الإلكترونات.

لجزيئات الموصل وزيادة سرعة اهتزاز جزيئاته وبالتالي

زيادة معدل تصادم الإلكترونات التيار الكهربائي مع جزيئات الموصل فتزداد الممانعة لسريته الإلكترونات خلاله.

1] سلك من النحاس طوله 30 m ومساحة مقطعه $0.33 \times 10^{-6}\text{ m}^2$ ومقاومته النوعية $1.79 \times 10^{-8}\text{ }\Omega\cdot\text{m}$ ، احسب مقاومته.

$$R = ? \quad L = 30\text{ m} \quad A = 0.33 \times 10^{-6}\text{ m}^2 \quad \rho = 1.79 \times 10^{-8}\text{ }\Omega\cdot\text{m}$$

$$\therefore R = \rho \frac{L}{A}$$

$$\therefore R = \frac{1.79 \times 10^{-8} \times 30}{0.33 \times 10^{-6}} = 1.627\text{ }\Omega$$

2] تيار شدته 5 mA يمر من سلك، احسب كمية الكهرباء

التي تمر عبر مقطع معين من السلك في زمن قدره 10 s .

وإذا كان هذا التيار ناتجاً عن سريان الإلكترونات

فاحسب عدد الإلكترونات الحارة عبر هذا المقطع خلال تلك الفترة.

علماً بأنه شحنة الإلكترون $1.6 \times 10^{-19}\text{ C}$

$$I = 5 \times 10^{-3}\text{ A} \quad Q = ?\text{ C} \quad t = 10\text{ s}$$

$$N = ? \quad e = 1.6 \times 10^{-19}$$

$$\therefore I = \frac{Q}{t}$$

$$\therefore Q = It$$

$$\therefore Q = 5 \times 10^{-3} \times 10 = 0.05\text{ C} \quad \neq \text{ ①}$$

$$\therefore Q = Ne$$

$$\therefore N = \frac{Q}{e}$$

$$N = \frac{0.05}{1.6 \times 10^{-19}} = 3.125 \times 10^{17} \text{ electrons}$$

3] سلك طوله 30m ومساحة مقطعه 0.3 cm^2 وصل على التوالي مع مصدر تيار مستمر وأميت مقاومته مجهلة. فإذا كانت شدة التيار المار في السلك 2A وفرق الجهد بين طرفيه 0.8V. احسب التوصيلية والكهرية للسلك.

$$L = 30 \text{ m} \quad A = 0.3 \times 10^{-4} \quad I = 2 \quad V = 0.8 \text{ V}$$

$$\sigma = ?$$

$$\therefore R = \frac{V}{I} \quad \therefore R = \frac{0.8}{2} = 0.4 \Omega$$

$$\therefore \sigma = \frac{l}{R \cdot A} \quad \therefore \sigma = \frac{30}{0.4 \times 0.3 \times 10^{-4}}$$

$$\therefore \sigma = 25 \times 10^5 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$$

4] سلكان من مادتيه مختلفتين طول الأول ضعف طول الثاني ونصف قطر الأول ضعف نصف قطر الثاني ومقاومة الأول تساوي مقاومة الثاني، احسب النسبة بين المقاوميتين النوعيتين لهما.

$$L_1 = 2L_2 \quad r_1 = 2r_2 \quad R_1 = R_2 \quad \frac{\rho_1}{\rho_2} = ?$$

$$\therefore \rho = \frac{RA}{L} \rightarrow \therefore \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{R_1 A_1}{L_1} \times \frac{L_2}{R_2 A_2}$$

$$\therefore \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{\pi r_1^2}{2L_2} \times \frac{L_2}{\pi r_2^2} \rightarrow \therefore \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{(2r_2)^2}{2} \times \frac{1}{r_2^2}$$

$$\therefore \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{4r_2^2}{2r_2^2} = \frac{2}{1} \#$$

5

سلك طوله 2m وكثافته مادته 7000Kg/m^3 . فإذا كانت مقاومته 2Ω ومقاومته النوعية 10^{-6} . احسب كتلته .

$$l = 2\text{m} \quad \rho = 7000\text{Kg/m}^3 \quad R = 2 \quad \rho_e = 10^{-6} \quad m = ?$$

$$\therefore R = \rho_e \frac{l}{A}$$

$$\therefore R = \rho_e \cdot \frac{l \cdot l}{A \cdot l} = \frac{\rho_e l^2}{V_{ol}}$$

$$\therefore \rho = \frac{m}{V_{ol}} \rightarrow \therefore V_{ol} = \frac{m}{\rho}$$

$$\therefore R = \frac{\rho_e l^2 \cdot m}{m}$$

$$\therefore m = \frac{\rho_e l^2 \rho}{R}$$

$$\therefore m = \frac{10^{-6} \times (2)^2 \times 7000}{2}$$

$$\therefore m = 0.014\text{Kg}$$

6

مكعب من مادة موصلية طول ضلعه 10cm تم إعادة تشكيله ليصبح سلك مقاومته 20Ω فإذا كانت المقاومة النوعية لمادة المكعب $1 \times 10^{-7}\Omega \cdot \text{m}$! احسب طول السلك ونصف قطره .
علماً بأنه $(\pi = 3.14)$

$$[447.21\text{m} / 8.44 \times 10^{-4}\text{m}]$$

(أجب بنفسك)

11

7] لديك سلكان (a)، (b) من نفس المادة طول السلك (a) ضعف طول السلك (b) فإذا كانت النسبة بين مقاومتي السلك (a) إلى مقاومة السلك (b) تساوي 8 ونصف قطر السلك (a) 4mm احسب مساحة مقطع السلك (b) علمًا بأنه $(\pi = 3.14)$.

$$\rho_a = \rho_b \quad l_a = 2l_b \quad \frac{R_a}{R_b} = 8 \quad r_a = 4 \times 10^{-3} \text{ m} \quad A_b = ?$$

$$\therefore \frac{R_a}{R_b} = \frac{\rho l_a}{A_a} \times \frac{A_b}{\rho l_b}$$

$$\therefore \frac{8}{1} = \frac{2l_b}{A_a} \times \frac{A_b}{l_b}$$

$$\therefore 8 = \frac{2 A_b}{\pi r_a^2} = \frac{2 A_b}{3.14 \times 16 \times 10^{-6}}$$

$$\therefore A_b = \frac{3.14 \times 16 \times 10^{-6} \times 8}{2} = 2.01 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

8] سلك طوله 2m ومساحة مقطعه $4 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ فإذا كان فرق الجهد بين طرفي السلك 20V كانت القدرة المستهلكة فيه 10W احسب :-

١- المقاومة النوعية لمادة السلك .

ب- عدد الإلكترونات التي تمر عبر مقطع منه خلال دقيقة .

$$\text{علمًا بأنه } [e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}]$$

اجب بنفسك! $[8 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{m} / 1.875 \times 10^{20} \text{ electron}]$

9] تتصل محطات لتوليد الكهرباء بمصنع يبعد عنها مسافة 2.5 Km بسلكية
 فإذا كان فرق الجهد بين طرفي السلكية عند المحطة 240 V وبين
 الطرفين عند المصنع 220 V . وكان المصنع يستخدم تياراً شدته 80 A
 اكتب : (مقاومة المتر الواحد من السلك - نصف قطر السلك)

$$\pi = 3.14 \quad \rho = 1.57 \times 10^{-8} \text{ } \Omega \cdot \text{m}$$

$$d = 2.5 \times 10^3 \quad \therefore l = 5 \times 10^3 \quad V_{\text{محطة}} = 240 \quad V_{\text{مصنع}} = 220$$

$$\therefore V = 240 - 220 = 20 \text{ V} \quad I = 80 \text{ A} \quad R = ? \quad r = ?$$

$$\rho = 1.57 \times 10^{-8}$$

$$\pi = 3.14$$

$$\therefore R = \frac{V}{I} = \frac{20}{80} = 0.25 \Omega$$

التيه للطول الكلي للسلك

$$R_{\text{المتر الواحد}} = \frac{R_{\text{كل}}}{l} = \frac{0.25}{5 \times 10^3} = 5 \times 10^{-5} \Omega \neq$$

$$\therefore R = \frac{\rho l}{A} = \frac{\rho l}{\pi r^2}$$

$$\therefore 0.25 = \frac{1.57 \times 10^{-8} \times 5000}{3.14 \times r^2}$$

$$\therefore r^2 = \frac{1.57 \times 10^{-8} \times 5000}{3.14 \times 0.25} = 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\therefore r = 0.01 \text{ m} \neq$$

10

سلك من مادة موصلة مقاومتها النوعية $1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ وطوله $2m$ يستهلك قدرة مقدارها $1W$ إذا

مر به تيار شدته $10A$. احسب:

① مساحة مقطع ② الطاقة التي يستهلكها خلال دقيقة إذا تم تسليط جهد مقداره $5V$ بين طرفيه.

$$\rho = 1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m \quad l = 2m \quad P_w = 1W \quad I = 10A$$

$$A = ? \quad (W = ? \quad V = 5V \quad t = 60s)$$

$$\therefore P_w = I^2 R \quad \therefore R = \frac{P_w}{I^2}$$

$$\therefore R = \frac{1}{100} = 0.01 \Omega$$

$$\therefore R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

$$\therefore A = \frac{\rho L}{R} = \frac{1.7 \times 10^{-8} \times 2}{0.01}$$

$$\therefore A = 3.4 \times 10^{-6} m^2 \quad \#$$

$$\therefore W = \frac{V^2 t}{R}$$

$$\therefore W = \frac{(5)^2 \times 60}{0.01} = 15 \times 10^4 J$$

* للنظر

لا يمكن استخدام القانون

$$W = V I t$$

لأنه تغير قيمه فرق الجهد

يؤدي لتغير شدة التيار

* نفوض عن قيمه I بدلا

$$(I = \frac{V}{R}) R \cdot V$$

14

⑪ فرض دائرة قانون أوم كانت قراءة الأميتر 0.3 أمبير وقراءة
الضولتميتر 3 فولت. احسب قيمة المقاومة الثابتة R ، وإذا وصلنا
مقاومة أخرى S على التوازي مع المقاومة R ، أذكر ما يطرأ
على قراءة الأميتر ولماذا (دور! ثبات رياضي) ، وإذا كان
طول سلك المقاومة هو 10 متر ومساحة مقطعه 1 mm^2 .
احسب قيمة مقاومته النوعية .

$$I = 0.3 \text{ A} \quad V = 3 \text{ V} \quad R = ?$$

$$\therefore R = \frac{V}{I} = \frac{3}{0.3} = 10 \Omega$$

* عند توصيل مقارنه R مع R على التوازي (فان V ثابت) .
ويجزيأ شدة التيار (فتقل قراءة الأميتر) .

$$l = 10 \text{ m} \quad A = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \quad \rho = ? \quad R = 10$$

$$\therefore \rho = \frac{R \cdot A}{l} = \frac{10 \times 1 \times 10^{-6}}{10} = 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$$

⑫ مرتين كهرتي شدته 8 مللي أمبير في سلك رضيع 1 mm^2 ،
وعندما وصل معته على التوازي سلك أخر له نفس
الطول ومنه نفس المعدل لزم زيادة شدة التيار الخارج من الدائرة
إلى 10 مللي أمبير حتى يظل فرق الجهد بينه 1 mm^2 ثابتاً ، أوجد
النسبة بين قطري السلكين .

$$I_1 = 8 \times 10^{-3} \text{ A} \quad I_2 = 10 \times 10^{-3} \text{ A} \quad L_1 = L_2 \quad \rho_1 = \rho_2$$

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{?}{?}$$

$$\therefore \frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho_1 L_1 A_2}{\rho_2 L_2 A_1} = \frac{A_2}{A_1}$$

\therefore السلكان على التوازي (فرق الجهد ثابت) $V_1 = V_2$ $(I_1 R_1 = I_2 R_2)$

$$\therefore \frac{R_1}{R_2} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{\pi r_2^2}{\pi r_1^2}$$

$$\therefore \frac{r_2^2}{r_1^2} = \frac{I_2}{I_1} \rightarrow \therefore \frac{10 \times 10^{-3}}{8 \times 10^{-3}} = \frac{r_2^2}{r_1^2} = \frac{5}{4} \quad \left(\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{4}{5}} \right)$$

تدريبات متنوعة

① اكتب الاختيار المناسب لكل عبارة من العبارات الآتية :

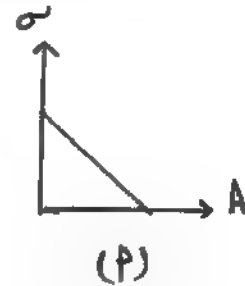
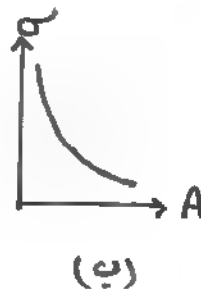
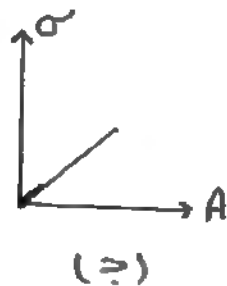
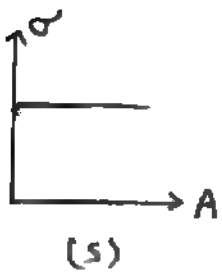
١- إذا زاد طول سلك النحاس إلى الضعف وقلت مساحة مقطعه لل نصف فإنه مقاومته [تزداد للضعف / تقل للنصف / تزداد أربع أمثالها]

٢- سلك معدني له طول معين ، سحب بحيث تضاعف طوله ، ما التغيير الحادث في قيمة مقاومته هذا السلك بفرض أن حجم السلك يظل ثابتاً . [تزداد للضعف / تقل للنصف / تزداد أربع أمثالها]

٣- إذا زاد نصف قطر سلك معدني إلى الضعف ونقص طوله إلى النصف فإنه التوصيلية الكهربائية لمادة السلك [تزداد للضعف / تقل للنصف / تظل ثابتة]

٤- حامل ضرب المقاومة النوعية لمادة X التوصيلية الكهربائية لها واحد [أكبره / أقله / يساوي]

٥- أي الأشكال التالية يعبر عن العلاقة بين التوصيلية الكهربائية لمادة موصل ومساحة مقطعه ؟



② ماذا نعني بقولنا أنه :

- ① شدة التيار الخارج من موصل = $0.3A$.
- ② فرق الجهد بين طرفي موصل = $5V$.
- ③ المقاومة الكهربائية لموصل = 200Ω .
- ④ المقاومة النوعية للمخمس = $1.8 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$.
- ⑤ مقلوب المقاومة النوعية لمادة موصل = $3 \times 10^7 \Omega^{-1} m^{-1}$.

③ ما العوامل التي يتوقف عليها كل مما يأتي :

- ① المقاومة الكهربائية لموصل .
- ② المقاومة النوعية لموصل .
- ③ التوصيلية الكهربائية لمادة موصل .

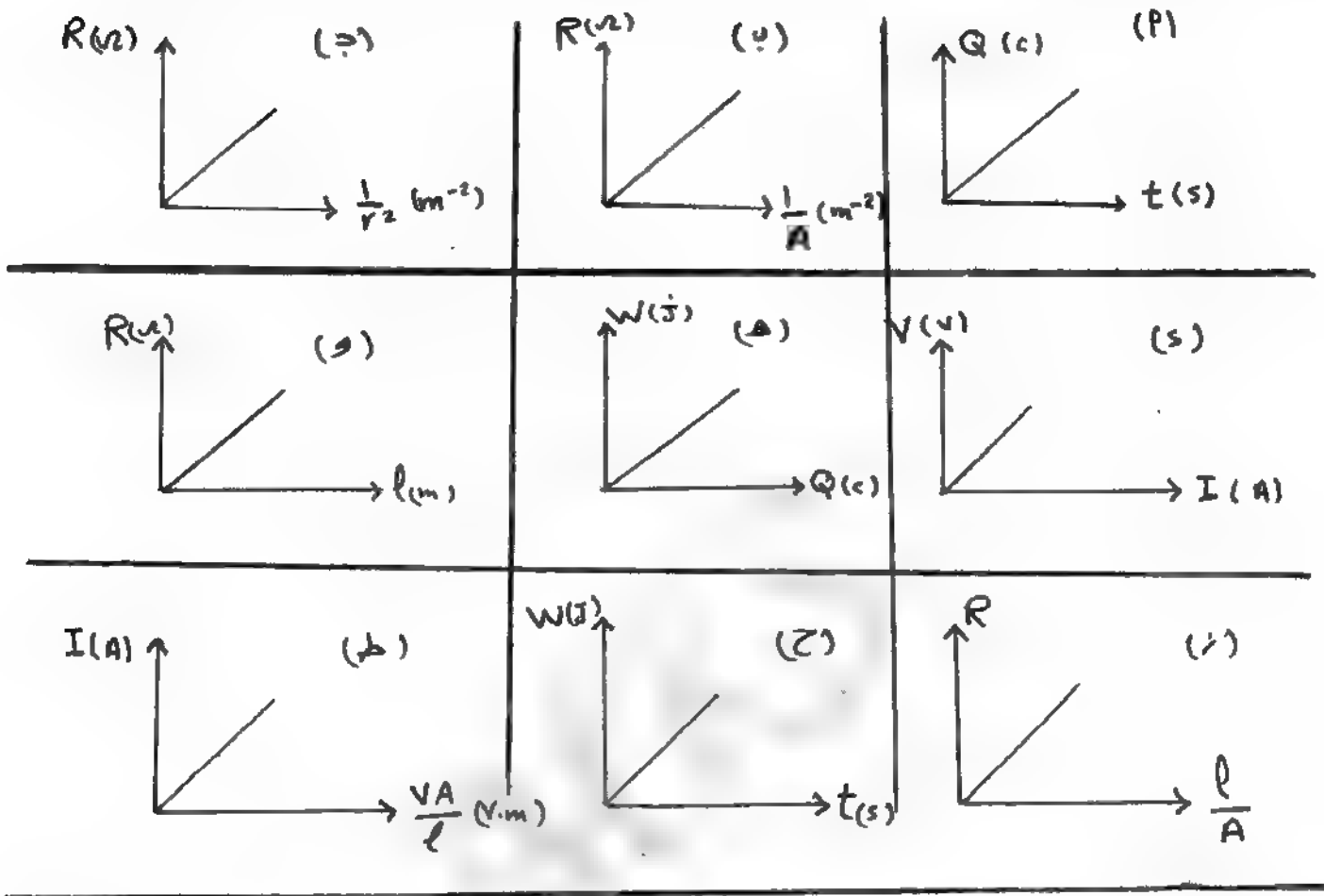
④ ما النتائج المترتبة على كل مما يأتي :

- ① زيادة طول موصل إلى الضعف مع انقاص قطره إلى النصف .
- ② زيادة كمية الشحنة الكهربائية المارة عبر مقطع من موصل في الثانية بالنسبة لشدة التيار الخارج فيه .

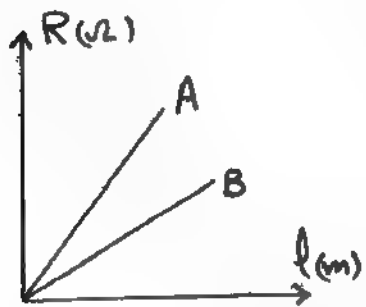
⑤ قارن بين كل مما يأتي :

- ① الكولوم - الأبيير - مدرجت (الكلمة الأخيرة التي تأتي في تعريفها / التعريف)
- ② المقاومة النوعية و التوصيلية الكهربائية مدرجت (التعريف - لقانونه لمستخدم وحدة القياس)

⑥ أكتب العلاقة الرياضية وبايساويها الميل لكل مما يأتي:



⑦ الشكل المقابل:



يمثل العلاقة البيانية بين المقاومة الكهربائية R

والطول l لمجموعة أسلاك من مادتين

مختلفتين A ، B لهما نفس مساحة المقطع.

(أ) أي من المادتين ذات مقاومة نوعية أكبر؟ ولماذا؟

(ب) إذا وصل كلاهما أحدهما من المادة A والاخر من المادة B

لهما نفس الطول على التوازي بدائرة كهربائية فأيهما

يمر به تيار أكبر؟ ولماذا؟

- ① سلك من النحاس طوله 30 m ومساحة مقطعه $2 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ عندما مر به تيار كهربى أصبح فرق الجهد بين طرفيه 3 V احسب شدة التيار المار . علماً بأنه $\rho = 1.79 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ ρ للنحاس
[11.17 A]

- ② سلك من نفس المادة طول السلك الثانى ضعف طول الأول وقطره يساوى نصف قطر الأول . احسب النسبة بين مقاومة السلك الثانى الى مقاومة السلك الأول [$\frac{8}{1}$]

- ③ سلك من معدن حجمه $2 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ ومساحة مقطعه $4 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ ومقاومته 1.25Ω احسب توصيليته الكهربية . [$10^5 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$]

- ④ سلك مقاومته النوعية $3.14 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$ وطوله 200 m فإذا كان هذا السلك يسمح بمرور 2×10^{19} إلكترون خلال الثانية لواطئة عند توصيله بمصدر 64 V احسب نصف قطر السلك .
علماً بأنه $[e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}, \pi = 3.14]$
[10^{-3} m]

- ⑤ سلك من النحاس طول أحدها 10 m وكتلته 0.1 Kg وطول الآخر 40 m وكتلته 0.2 Kg قارن بين مقاومته كل منهما
[$\frac{1}{8}$]

- ⑥ إذا كان الشغل المبذول لنقل كمية من الكهربية قدرها 5 C خلال 1 s بين نقطتين فى موصل هو 100 J احسب :-

- (أ) فرق الجهد بين النقطتين
(ب) شدة التيار المار
(ج) عدد الإلكترونات المارة خلال 2 s علماً بأنه شحنة الإلكترون $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

⑦ [$20\text{ V} / 5\text{ A} / 6.25 \times 10^{19} \text{ electron}$]

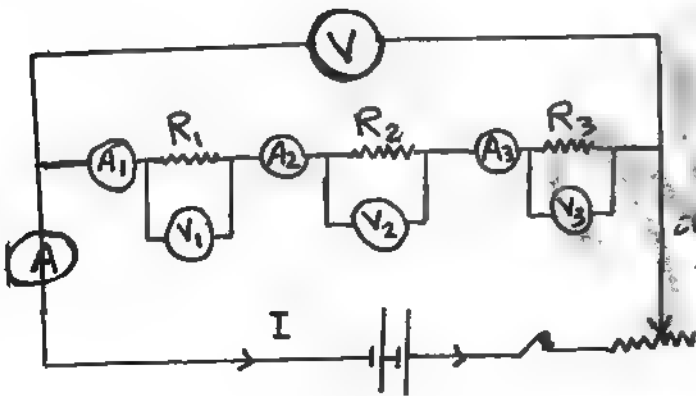
توضيل المقاومات

١ التوصل على التوالي

- * طريقة التوصل : توصل المقاومات في دائرة كهربية تكونه من بطارية وأصير وفولتميتر وريوستات ومفتاح .
- تعتبر المقاومات ممتص للتيار الكهربائي .

- * الغرض من التوصل : الحصول على مقاومة كبيرة من مجموعة مقاومات صغيرة .
(حيث تكون المقاومة المكافئة أكبر من قيمة أكبر مقاومة في المجموعة)

استنتاج قيمة المقاومة المكافئة



- ١- تكون دائرة كما هو موضح بالرسم .
- ٢- نغلق الدائرة ونغير قراءات الأميتر والفولتميترات . عدة مرات مع تغيير قيمة الريوستات .
- ٣- الملاحظة :-

- شدة التيار الخارج من كل المقاومات متساوي .

- فرق الجهد الكلي = مجموع فروق الجهد على المقاومات .

$$\therefore V' = V_1 + V_2 + V_3$$

$$\therefore IR' = IR_1 + IR_2 + IR_3 \quad (\text{من قانون أوم } V = IR)$$

$$R' = R_1 + R_2 + R_3$$

- * وإذا كانت المقاومات المتصلة على التوالي متساوية وعددها N

$$R' = NR$$

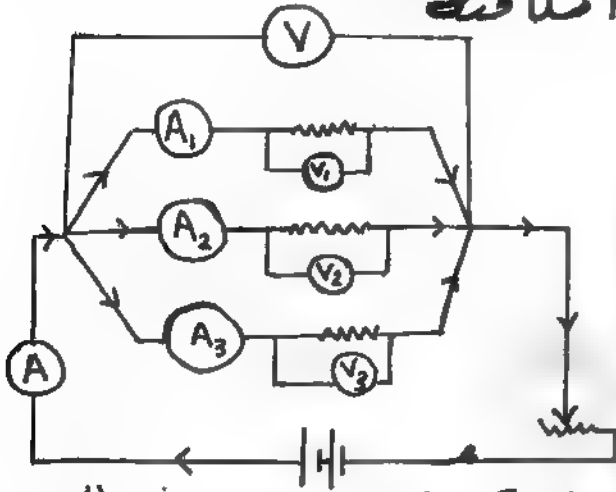
2] توصيل المقاومات على التوازي

* طريقة التوصيل : توصيل المقاومات في دائرة كهربائية تتكون من بطارية وأصير وفولتميتر وريوستات ومفتاح.

* الغرض من التوصيل : الحصول على مقاومة صغيرة من مجموعة من المقاومات الكبيرة.

(حيث تكون المقاومة المكافئة أقل من قيمة أصغر مقاومة في المجموعة)

استنتاج قيمة المقاومة المكافئة



١ - تكون دائرة كما هو موضح بالرسم .

٢ - نغلق الدائرة ونغير قراءة الأميترات

والفولتميترات عدة مرات . بتغير قيمة

المقاومة المتغيرة كل مرة .

الملاحظة : * فروطه الجهد بين طرفي المقاومات متساوي ويساوي فروطه الجهد

لكل من طرفي طرفي المجموعات .

* التيار الكلي يتجزأ في المقاومات عكسياً مع قيمة المقاومة (المقاومة الأصغر ذات تيار أكبر)

* شدة التيار الكلي = مجموع قيم شدة التيارات المارة في المقاومات .

$$\therefore I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\therefore \frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

$$\therefore \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

* فرطه وجود مقاومتين فقط متصلتين على التوازي فإنه $R' = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

* عندما تكون قيم المقاومات المتصلة على التوازي متساوية

$$R' = \frac{R}{N} \quad \begin{array}{l} \text{قيمة المقاومة الواحدة} \\ \text{عدد المقاومات} \end{array}$$

مسائل

- ① مقاومتان مقدارهما $[12\Omega, 18\Omega]$ متصلتان على التوازي
 ا) حسب P : المقاومة المكافئة لهما .
 ب) فرق الجهد بسببه طرفيهما الذي يجعل شدة التيار الكلية $1.5A$.

$$\therefore R' = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\therefore R' = \frac{12 \times 18}{12 + 18} = 7.2 \Omega$$

$$\therefore V = IR'$$

$$\therefore V = 1.5 \times 7.2 = 10.8 V$$

- ② عدد من المقاومات قيمته كل منها 40Ω ، حسب كم مقاومة
 منها لنزوم لحل تيار شدته $15A$ على خط فرق الجهد بسببه طرفيه $120V$

$$N = ? \quad R = 40\Omega \quad I = 15A \quad V = 120V$$

$$\therefore R' = \frac{V}{I} = \frac{120}{15} = 8\Omega$$

$$\therefore R' = \frac{R}{N} \rightarrow \therefore N = \frac{R}{R'}$$

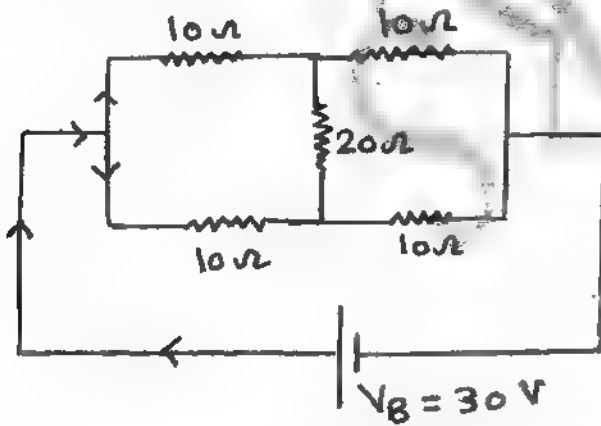
$$\therefore N = \frac{40}{8} = 5 \text{ مقاومات}$$

علل : توصيل الأجهزة المنزلية على التوازي .

- حق عمل كل جهاز على نفس فرق الجهد المساوي لفرق جهد المصدر الكهربى وبالتالى يمكن تشغيل كل جهاز منفرداً ولا يؤثر تلف جهاز على عمل الأجهزة الأخرى . كما أن المقاومة المكافئة للجهاز تكون صغيرة جداً فلا تضعف شدة التيار .

علل : فى الدوائر المتصلة على التوازي تستخدم أسلاك سلكية عند طرفى البطارية .

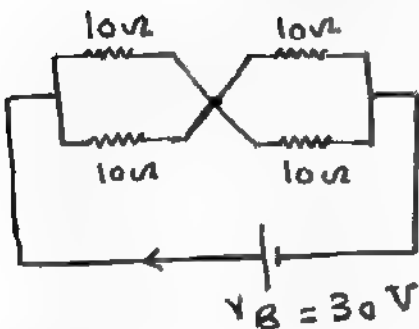
- لأنه شدة التيار تكون أكبر مما يمكنه عند طرفى البطارية .



٢٣ - حسد الدائرة المقابلة ، احسب :

- (أ) - المقاومة المكافئة .
(ب) - شدة التيار الخارج من الدائرة .

* لا يمر تيار فى المقاومة 20Ω لتساوى الجهد بين طرفيها

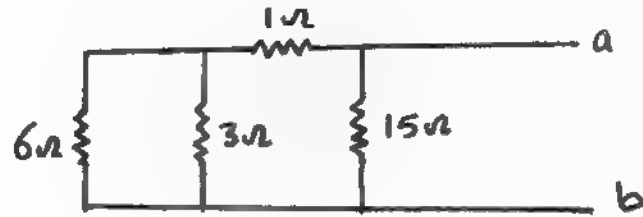


$$R_{\text{توازي}} = \frac{R}{N} = \frac{10}{2}$$

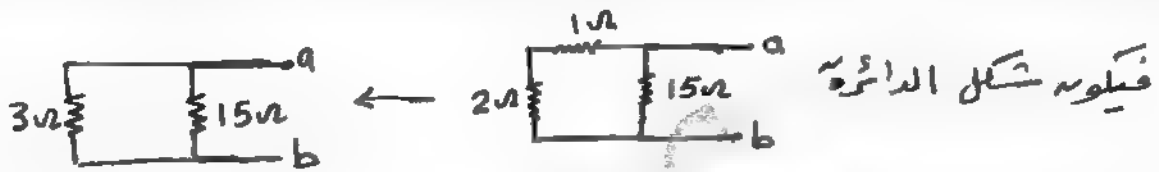
$$\therefore R' = \frac{10}{2} + \frac{10}{2} = 10\Omega$$

$$\therefore I = \frac{V}{R'} = \frac{30}{10} = 3A$$

③ أوجد المقاومة المكافئة بين النقطتين a ، b في الدوائر الكهربية
الآتية :

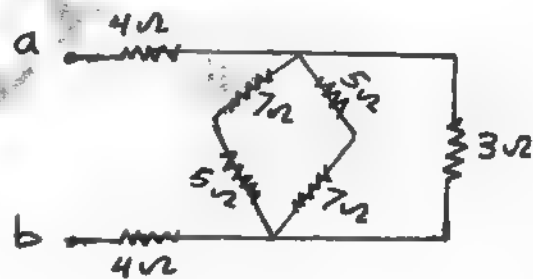


بتبسيط الدائرة : المقاومة مكافئة 6Ω و 3Ω (على التوالي) $R = \frac{3 \times 6}{3+6} = 2\Omega$ توازي



$$\therefore R = \frac{3 \times 15}{3+15} = \underline{\underline{2.5 \Omega}}$$

[10 Ω]



④

⑤ ثلاث مقاومات (20، 40، 60) أوم متصلة بحصة تيار كهربي ،
 فإذا كان فرق الجهد بين طرفي كل مقاومة هو (30، 20، 50) فولت
 على الترتيب ، بينه بالرسم كيفية توصيل هذه المقاومات ،
 ثم احسب المقاومة الكلية للداشقة .

$$R_1 = 20 \Omega$$

$$R_2 = 40 \Omega$$

$$R_3 = 60 \Omega$$

$$V_1 = 50 \text{ V}$$

$$V_2 = 20 \text{ V}$$

$$V_3 = 30 \text{ V}$$

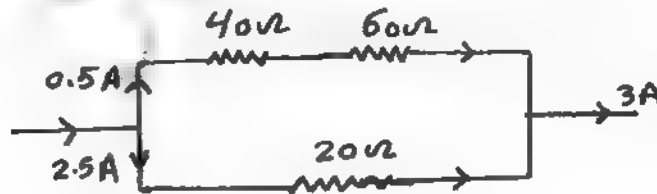
$$I = \frac{V}{R}$$

$$I_1 = 2.5 \text{ A}$$

$$I_2 = 0.5 \text{ A}$$

$$I_3 = 0.5 \text{ A}$$

للفهم بعد إيجاد القيمة الكلية للقانون I لكل المقاومات . وبالمقارنة نجد:
 $I_2 = I_3$ ، $R_3 < R_2$ (توازي)
 وكذلك * $V_1 = V_2 + V_3$ ، R_1 توازي مع R_2 و R_3
 ويكون الرسم المبين لكيفية توصيل هذه المقاومات .



$$\therefore R' = \frac{(40+60) \times 20}{(40+60)+20} = \frac{100 \times 20}{100+20}$$

$$\therefore R' = 16.666 \Omega$$

- ⑥ وصل عدده المقاومات متساوية القيمة مرة على التوالي فكانت قيمة المقاومة المكافئة 20Ω . وعند توصيلها على التوازي كانت قيمة المقاومة المكافئة 0.8Ω احسب كلًا من :-
- ١ - عدد المقاومات
 - ٢ - قيمة المقاومة الواحدة .

∴ المقاومات متساوية القيمة

$$\therefore R' = NR \quad \text{توازي}$$

$$R' = \frac{R}{N} \quad \text{توازي}$$

$$\therefore 20 = NR \quad \text{①}$$

$$\therefore 0.8 = \frac{R}{N} \quad \text{②} \quad \text{وكذلك}$$

* للفرق في حالة وجود مجهوليه
في معادلة . نوجد إحداهما
بدلالة الآخر .

$$\therefore R = \frac{20}{N} \quad \text{① من المعادلة}$$

بالتعويض في المعادلة ②

$$\therefore 0.8 = \frac{20}{N} \times \frac{1}{N}$$

$$\therefore 0.8 N^2 = 20$$

$$\therefore N^2 = \frac{20}{0.8} = \frac{200}{8} = 25$$

$$\therefore N = 5 \quad \text{مقاومات}$$

بالتعويض في المعادلة ①

$$\therefore R = 4\Omega$$

حل آخر

$$R' = nR = 20\Omega \quad \text{① توازي}$$

$$R' = \frac{R}{N} = 0.8\Omega \quad \text{② توازي}$$

بضرب ② × ①

$$\therefore R^2 = 16$$

$$\therefore R = 4\Omega$$

بالتعويض في ①

$$\therefore N = \frac{20}{4}$$

$$N = 5 \quad \text{مقاومات}$$

$$\therefore 20 = 5R$$

②٥

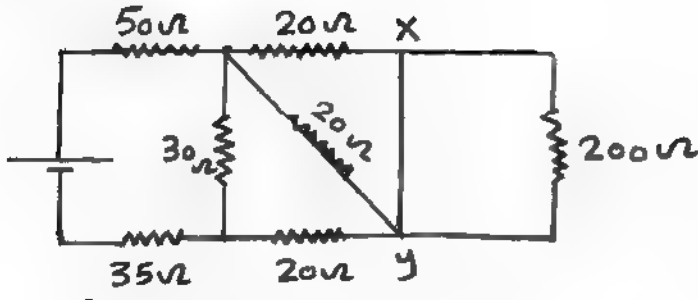
⑦ من الدائرة المقابلة، احسب :

(أ) المقاومة المكافئة .

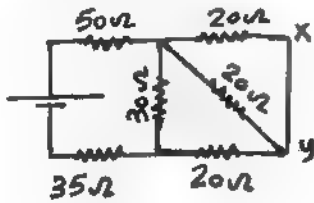
(ب) شدة التيار المار من

الدائرة علماً بأنه

$$V_B = 100 \text{ V}$$



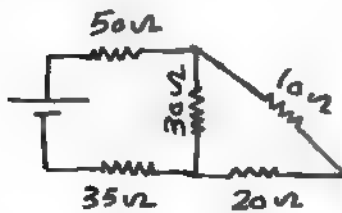
* السلك X و Y مقاومته صفر فيمر التيار خلاله ولا يمر من المقاومة 200Ω



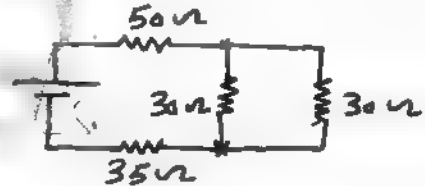
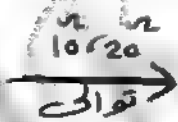
و يكون شكل الدائرة كالتالي :

- المقاومتان 20Ω ، 20Ω متصلتان

$$\text{على التوالي } R = \frac{R}{N} = \frac{20}{2} = 10\Omega$$

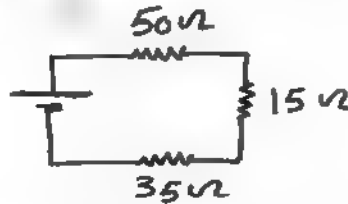


* وتكون الدائرة كما بالشكل



$$R = \frac{30 \times 30}{30 + 30} = 15\Omega$$

* المقاومتان 30Ω ، 30Ω على التوالي



المقاومات 50Ω ، 15Ω ، 35Ω متصلة على التوالي .

$$\therefore R' = 15 + 50 + 35 = 100\Omega$$

$$\therefore I' = \frac{V}{R'} = \frac{100}{100}$$

$$\therefore I' = 1A$$

تدريبات متنوعة

① عرف كلاً من [الكولوم / لقوة الدافعة الكهربائية / مصدر /
فرق الجهد بين نقطتين / المقاومة النوعية / لقوة / الأبعاد / التوصيلية الكهربائية]

② اذكر نص قانون أوم مع كتابة الصيغة الرياضية له.

③ ما معنى قولنا ~

- أ - شدة التيار المار من موصل = $5A$.
- ب - ف.د.ك لعمود = $5V$.
- ج - فرق الجهد بين نقطتين = $5V$.
- د - لمقاومة الكهربائية لموصل = 5Ω .
- هـ - لمقاومة النوعية للخارص = $7 \times 10^5 \Omega \cdot m$.
- و - التوصيلية الكهربائية للفضة = $6 \times 10^7 \Omega^{-1} \cdot m^{-1}$.

④ اثبت بتجارب عملية أن :-

أ - $R' = R_1 + R_2 + R_3$ توالى

ب - $\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$ توازي

⑤ ماهو إطلاقة بين ف.د.ك لعمود VB وفرق الجهد بين طرفيه V ؟
ومتى يتساوى كل منهما مع الآخر ؟

⑥ ماهو العوامل التي تؤثر في مقاومة موصل ؟ ! استنتج رياضياً
العلاقة بين المقاومة وتلك العوامل .

⑦ اكتب الاختيار المناسب لكل عبارة من العبارات الآتية :-

1. الوصلة المكافئة للوصلة كولوم / ثانية هي (فولت / أمبير / أوم / فاراد)

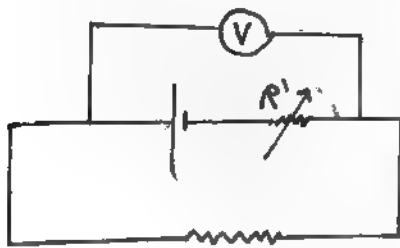
2. إذا زاد طول سلك من النوع إلى النصف ونقصت

مساحة مقطعه إلى النصف فإنه مقاومته

(تزداد للضعف / تقل للنصف / تزداد أربع أمثالها) .

3. تقاس القوة الدافعة الكهربائية بوحدة

(أمبير / فولت / أوم / كولوم)



* 4. عند زيادة R' في الدائرة الكهربائية الموضحة

فإن قراءة الفولتميتر V

(تقل / تزداد / تظل ثابتة)

5. ثلاث مقاومات متصلة على التوازي . إذا كانت مقاومة إحداها

تساوي واحد أوم فإنه المقاومة المكافئة لهذه المقاومات ... أوم

(أقل من / أكبر من / تساوي) .

6. موصل منتظم المقطع طوله 20m ومقاومته 108Ω وموصل آخر

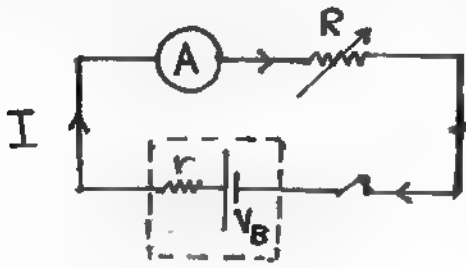
من نفس نوع المادة للموصل الأول طوله 5m ومساحة مقطعه

ثلاثة أمثال مساحة مقطع الموصل الأول فإنه مقاومته

الموصل الثاني تساوي

(9Ω / 27Ω / 84Ω)

الدرس الثاني (قانون أوم للدائرة المغلقة / قانون كيرشوف)



* منه تعريف لقوة الدافعة الكهربائية V_B ^{emf}

" مقدار الشغل الكلي المبذول لنقل

كمية من الكهرباء مقدارها الوحدة

من الدائرة كلها - داخل وخارج المصدر -

وحدة أنه الرموز V_B و.د.ك / I شدة التيار / R المقاومة الخارجية .
 r / المقاومة الداخلية [تمثل مكونات الدائرة]

$$\therefore V_B = V_{\text{خارج}} + V_{\text{داخلي}}$$

$$\therefore V_B = IR + Ir$$

$$\therefore V_B = I(R + r)$$

وكذلك
$$I = \frac{V_B}{R + r}$$

حيث $(r + R)$ المقاومة الكلية للدائرة .

• تبعاً لقانون أوم (يمكن إيجاد العلاقة بين V_B للعمود وفرد الجهد بين قطبيه V)

* فرد الجهد بين طرفي العمود

لا يساوي و.د.ك للعمود .

لذلك

$$\therefore V_B = IR + Ir$$

$$\therefore V_B = V + Ir$$

$$\therefore V = V_B - Ir$$

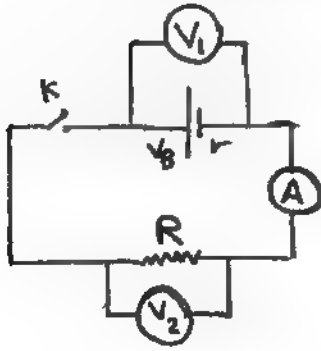
* لأنه للعمود مقاومة داخلية

$$V = V_B - Ir$$

وتكون

أي V_B دائماً أكبر من V .

* ملاحظات على قانون أوم للدائرة المغلقة :-



① مع الدائرة :-

1- عندما يكون المفتاح K مفتوح فإن :-

$$V_1 = V_B$$

* قراءة A = صفر * قراءة $V_2 =$ صفر

2- عندما يكون المفتاح K مغلق فإن

$$V_1 = V_B - Ir$$

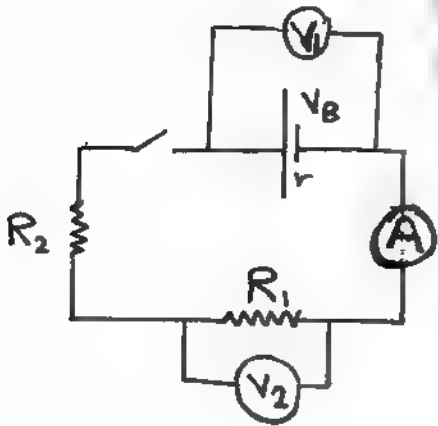
$$I = \frac{V_B}{R+r}$$

* قراءة الأميتر A

* قراءة الفولتميتر V_2 تعطى مع العلاقة

$$V_2 = IR = V_B - Ir$$

3- لعدم وجود مقاومات أخرى في الدائرة غير R نلاحظ أن $V_1 = V_2$



② عند غلق المفتاح K فإن :-

* قراءة الفولتميتر V_1 تعطى مع العلاقة :-

$$V_1 = V_B - Ir$$

* قراءة الفولتميتر V_2 تعطى مع العلاقة :-

$$V_2 = IR_1$$

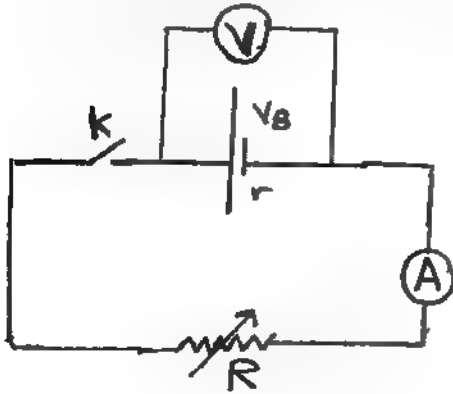
* قراءة $V_1 \neq$ قراءة V_2 لوجود مقاومة أخرى R_2 .

$$- \text{قراءة } V_1 = \text{قراءة } V_2 + IR_2$$

$$V_1 = IR_1 + IR_2$$

أى أنه فرق الجهد الكلى يوزع على كل من المقاومتين R_1 و R_2

(٣) ماذا يظهر على قراءة كلا من الأميتر والفولتميتر عند غلق المفتاح K ثم زيادة قيمة R . بالإشارات الرياضية . .

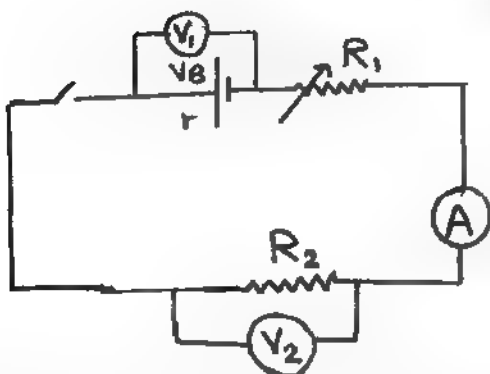


* بقلو المفتاح K . فانه قراءة V_1
 $V_1 = V_B - Ir$

، قراءة الأميتر $I = \frac{V_B}{R+r}$

* بزيادة قيمة R فانه قراءة الأميتر تقل حيث $I \propto \frac{1}{R}$
 وتزداد قراءة الفولتميتر V نتيجة لنقص قيمة I . حيث $I \propto \frac{1}{R}$
 $V = V_B - Ir$
 وبالتالي نقص قيمة I فانه المقدار V يزداد .

(٤) عند غلق المفتاح K وزيادة قيمة R_1 ماذا يحدث لكل من قراءة الأميتر A والفولتيمترات V_1 ، V_2



* ← قراءة الأميتر A تقل نتيجة لزيادة قيمة المقاومة الكلية للدائرة .

$$I = \frac{V_B}{R_1 + R_2 + r}$$

* ← قراءة الفولتميتر V_2 تقل نتيجة لنقص شدة التيار الخارج من الدائرة
 حيث $I \propto V_2$ فانه $V_2 = IR_2$ وبقيت R_2 فانه $V_2 \propto I$

* ← قراءة الفولتميتر V_1 تزداد نتيجة لنقص شدة التيار

حيث $I \propto V_1$ $V_1 = V_B - Ir$

علل $\frac{1}{\sigma}$ يزداد فربه الجهد بزيادة قطبين بطارية عند زيادة مقاومة داخليتها.

لأنه تبعاً للعلاقة $V = V_B - Ir$. عندما تزداد مقاومة الدائرة تقل شدة التيار المار فيها فيقل فربه الجهد الداخلي Ir وحده V_B ثابت فإن فربه الجهد بزيادة لفرس البطارية يزداد .

علل إذا فتحت دائرة مصدر كهربي فانه فربه الجهد بزيادة قطبين يساوي القوة الدافعة الكهربية له .

تساوي فربه الجهد بزيادة قطبين البطارية مع القوة الدافعة الكهربية لها في حالة عدم مرور تيار في داخليتها .

لأنه تبعاً للعلاقة $V_B = V + Ir$ عند فتح الدائرة تصبح قيمة التيار I ماري للصفر فتكون قيمة $Ir = 0$ صفر . وبالتالي تكون $V_B = V$.

① مقاومة 4.7Ω وصلت بسلسلة قطبي بطارية قوتها الدافعة 12 V ومقاومتها الداخلية 0.3Ω احس :-

أ. شدة التيار المار في الدائرة ب. فرق الجهد بسلسلة طرفي المقاومة.

$$R = 4.7 \Omega \quad V_B = 12 \quad r = 0.3 \quad I = ? \quad V = ?$$

$$\therefore I = \frac{V_B}{R+r}$$

$$\therefore I = \frac{12}{4.7 + 0.3} = 2.4 \text{ A}$$

$$\therefore V = IR = 2.4 \times 4.7 = 11.28 \text{ V}$$

② وصل عمود كهربي مع مقاومة قدرها 1.9Ω فمر تيار شدته 0.5 A وعندما استبدلت هذه المقاومة بمقاومة أخرى قدرها 10.6Ω صبحت قيمة شدة التيار إلى 0.125 A احس :-

$$R_1 = 1.9 \Omega \quad I_1 = 0.5 \text{ A}$$

$$R_2 = 10.6 \quad I_2 = 0.125 \text{ A}$$

$$V_B = ?$$

$$\therefore V_B = I_1(R_1 + r) = I_2(R_2 + r)$$

$$\therefore I_1(R_1 + r) = I_2(R_2 + r)$$

$$\therefore 0.5(1.9 + r) = 0.125(10.6 + r)$$

$$\therefore 0.95 + 0.5r = 1.325 + 0.125r$$

$$-0.375r = 0.375$$

$$\therefore r = 1 \Omega$$

$$\therefore V_B = I_1(R_1 + r) = 0.5(1.9 + 1) = 1.45 \text{ V}$$

- ③ بطارية قوتها الدافعة 6 فولت ومقاومتها الداخلية 1 Ω وأصغر حمل المقاومة ومقاومة ثابتة R وريوسات موصلة معاً على التوالي وعندما ضبط الزاوم عند بداية الريوسات مر بالداثرة تيار شدته 0.6 أمبير ، وعندما ضبط الزاوم عند نهاية الريوسات مر تيار شدته 0.1 أمبير .! حسب :-
 1- قيمة R
 2- قيمة مقاومة الريوسات .

$$V_B = 6V \quad r = 1 \quad R = ? \quad R_v = ?$$

① عندما $\rightarrow R_v = 0 \quad I = 0.6A$

② عندما $\rightarrow R_v = R_v \quad I = 0.1$

① في الحالة الأولى $\therefore I = \frac{V_B}{R+r}$

$$\therefore 0.6 = \frac{6}{R+1} \quad \therefore 0.6R + 0.6 = 6$$

$$\therefore R = \frac{6-0.6}{0.6} = \frac{5.4}{0.6} = 9\Omega$$

② في الحالة الثانية $\therefore I = \frac{V_B}{R+r+R_v}$

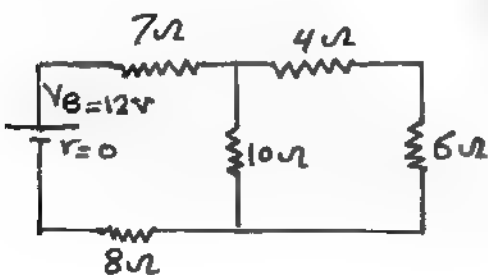
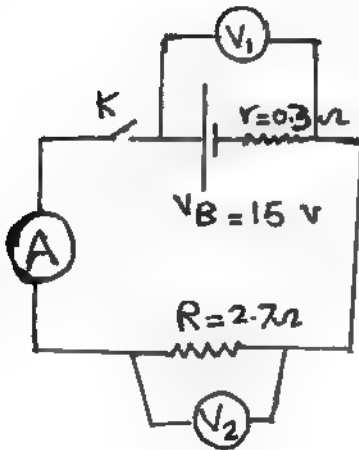
$$\therefore 0.1 = \frac{6}{9+1+R_v}$$

$$\therefore 6 = 0.9 + 0.1 + 0.1 R_v$$

$$\therefore 6 - 1 = 0.1 R_v$$

$$\therefore R_v = 50\Omega$$

④ من الشكل الموضح! اكتب قراءة V_1 و V_2
عندما تكون الدائرة: أ- مفتوحة ب- مغلقة



⑤ من الدائرة الموضحة احسب التيار الكلي
في الدائرة (تيار البطارية) ، وكذلك
شدة التيار الخارج من المقاومة 10Ω مع إهمال r

- المقاومات 4Ω و 6Ω (توازي) $\therefore R = 4 + 6 = 10\Omega$ توازي
- وتكون مقاومة التوازي 10Ω مع المقاومة 10Ω توازي $\therefore R = \frac{10 \times 10}{10 + 10} = 5\Omega$ توازي

$$\therefore R' = 5 + 7 + 8 = 20\Omega$$

$$\therefore I = \frac{V}{R'} = \frac{12}{20} = 0.6 A$$

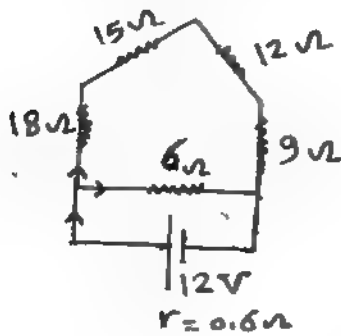
* \therefore التيار يتجزأ بالتساوي عند فرعي التوازي 10Ω و 10Ω

$$\therefore I_{10\Omega} = 0.3 A$$

⑥ مضلع من أسلاك رؤوسه من 6Ω، 9Ω، 12Ω، 15Ω، 18Ω. وضح كيف يمكن توصيل

رأسه من رؤوسه بمصدر كهرقوة الدافعة 12V ومقاومته الداخلية 0.6Ω بحيث نحصل على أكبر شدة تيار. وما قيمته؟

* للحصول على أكبر شدة تيار يلزم أن تكون المقاومة الكلية للدائرة أقل ما يمكن. لذلك نصل أقل مقاومة 6Ω على التوازي مع باقى المقاومات كما بالشكل.



$$R = 9\Omega + 12 + 15 + 18 = 54\Omega$$

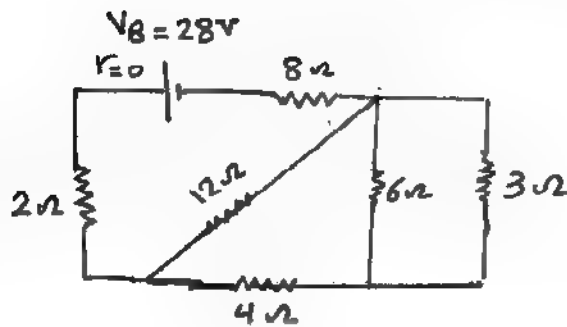
$$\therefore R' = \frac{54 \times 6}{54 + 6} = 5.4\Omega$$

$$\therefore I = \frac{V_B}{R + r}$$

$$\therefore I = \frac{12}{5.4 + 0.6} = 2A$$

⑦ فى الدائرة الموضحة أوجد:-

أ- شدة التيار ب- القدرة المفقودة فى المقاومة 8Ω.



$$\therefore R = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = 2\Omega$$

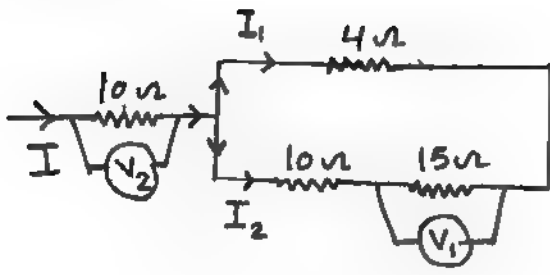
$$R = 4 + 2 = 6\Omega$$

$$R = \frac{6 \times 12}{6 + 12} = 4\Omega$$

$$R' = 8 + 2 + 4 = 14\Omega$$

$$\therefore I = \frac{V_B}{R'} = \frac{28}{14} = 2A$$

$$\therefore P_w = I^2 R = (2)^2 \times 8 = 32 \text{ watt}$$



⑧ في الدائرة الموضحة بالشكل
إذا علمت أنه مقدار القوة المفقودة
في المقاومة 4Ω تعادل 100 watt
احسب قراءة V_2 ، V_1 ، A

$$P_w = I^2 R$$

$$\therefore I^2 = \frac{P_w}{R} = \frac{100}{4} = 25 \text{ A}^2$$

$$\therefore I = 5 \text{ A}$$

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \quad \therefore \text{التوصيل على التوازي}$$

$$I_1 \times 4 = I_2 (10 + 15)$$

$$5 \times 4 = 25 I_2 + 15$$

$$\therefore I_2 = 0.8$$

$$V_1 = I_2 \times 15 = 0.8 \times 15 = 12 \text{ V}$$

$$V_2 = 10 \times 5.8 = 58 \text{ V}$$

⑨ وصل غود كهري مع مقاومة قدرها 1.9Ω فميار شدته 0.5 A
، وعندما استبدلت هذه المقاومة بمقاومة أخرى مقدارها 10.6Ω
مرتبار شدته 0.125 A . احسب r . د.ك للبطارية ، المقاومة الداخلية

$$\therefore V_B = I_1 (R_1 + r)$$

$$\therefore V_B = 0.5 (1.9 + r) \rightarrow \text{①}$$

$$\therefore V_B = I_2 (R_2 + r)$$

$$\therefore V_B = 0.125 (10.6 + r)$$

$$\therefore V_B = 1.325 + 0.125r \rightarrow \text{②}$$

س ① ، ② بالمساراه

$$\therefore 1.325 + 0.125r = 0.95 + 0.5r$$

$$\therefore 1.325 - 0.95 = 0.5r - 0.125r$$

$$\therefore 0.375 = 0.375r$$

$$\therefore r = 1\Omega$$

$$\therefore V_B = I(R+r)$$

$$\therefore V_B = 0.95 + (0.5 \times 1)$$

$$\therefore V_B = 1.45V$$

⑩ ثلاثة مصابيح متتالية ومثبتة مرة على التوالي
ومرة أخرى على التوازي مع نفس المصدر. قارن بين
القدرة المستنفذة من المصابيح في الحالتين.

$$R_{\text{توازي}} = NR$$

في المصابيح متتالية

$$R_{\text{توازي}} = 3R$$

$$R_{\text{توازي}} = \frac{R}{3}$$

$$\therefore P_W = \frac{V^2}{R}$$

$$\frac{P_{W_{\text{توازي}}}}{P_{W_{\text{توازي}}}} = \frac{V^2}{3R} \div \frac{V^2}{\frac{R}{3}}$$

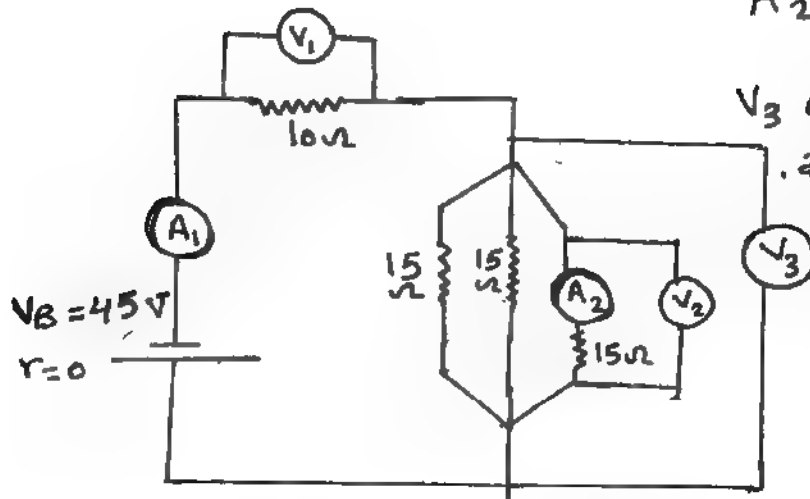
$$\therefore \frac{P_{W_{\text{توازي}}}}{P_{W_{\text{توازي}}}} = \frac{V^2}{3R} \times \frac{R}{3V^2} = \frac{1}{9}$$

١١ في الدائرة الموضحة أوجد:-

أ - قراءة الأميترات A_1 ، A_2

ب - قراءة الفولتميترات V_1 ، V_2 ، V_3

ج - القدرة المستنفذة في كل مقاومة.



$$R' = \frac{15}{3} + 10 = 15 \Omega$$

$$\therefore I_1 = \frac{V_B}{R'} = \frac{45}{15} = 3A$$

قراءة الأميتر A_1

$$V_1 = IR = 3 \times 10 = 30 \text{ Volt}$$

$$A_2 \text{ قراءة} = \frac{I_1}{3} = \frac{3}{3} = 1A$$

$$V_2 = IR = 1 \times 15 = 15 \text{ Volt}$$

$$V_3 = I_1 R = 3 \times 5 = 15V$$

تواز I_1

* نلاحظ أن $V_B = V_1 + V_2$ (لعدم وجود مقاومة داخلية r)

$$P_{w1} = I^2 R = (3)^2 \times 10 = 90 \text{ watt} .$$

$$P_{w2} = I^2 R = (1)^2 \times 15 = 15 \text{ watt}$$

من كل مقاومة 15Ω

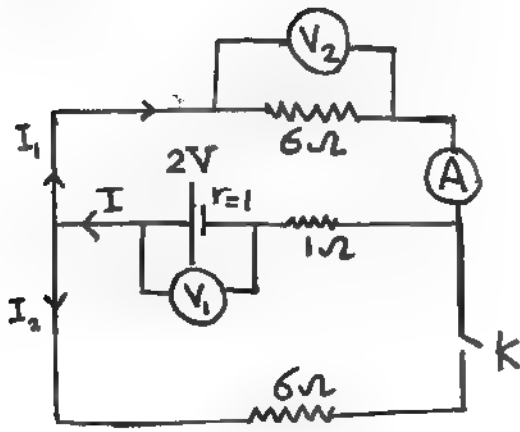
١٢

* نلاحظ أن $P_w = IV = 3 \times 45 = 135 \text{ watt}$ مصدر

$$P_w' = 90 + (3 \times 15) = 135 \text{ watt}$$

مجموع الضراحتين في المقاومة

القدرة المستنفذة من الدائرة = القدرة المستنفذة من المصدر



في الدائرة الموضحة أوجد قراءة كل من

V_1 ، V_2 ، A . عند ما يكون :-

١- المفتاح K مفتوح ٢- المفتاح K مغلق

* ١- المفتاح مفتوح :-

$$\textcircled{A} \rightarrow \text{قراءة } I = \frac{V_B}{R'} = \frac{2}{6+1+1} = 0.25 A$$

$$\textcircled{V_1} \rightarrow \text{قراءة } V_1 = V_B - Ir$$

$$V_1 = 2 - (0.25 \times 1) = 1.75 V$$

$$\textcircled{V_2} \rightarrow \text{قراءة } V_2 = IR = 0.25 \times 6 = 1.5 V$$

٢- المفتاح مغلق :-
خذنا المقاومتين 6Ω ، 6Ω متصليتين على التوازي

$$R_{\text{توازي}} = \frac{6 \times 6}{6+6} = 3\Omega$$

$$R' = 3 + 1 = 4\Omega \text{ مقاومات خارجية}$$

$$\textcircled{A} \rightarrow \text{قراءة } I = \frac{V_B}{R'} = \frac{2}{4+1} = 0.4 A$$

* يتجزأ التيار من المقاومتين 6Ω ، 6Ω بالتساوي

$$(أي يمر في كل مقاومة $\frac{0.4}{2} A = 0.2 A$)$$

$$\therefore V_2 = IR = 0.2 \times 6 = 1.2 V$$

$$\textcircled{V_1} \rightarrow V_1 = V_B - Ir$$

$$V_1 = 2 - (1 \times 0.4) = 1.6 V$$

- ⑬ عمود كهربي متصل مع مقاومة R فكانت شدة التيار الخارج فيها I وعندما وحلت مقاومة أخرى $\frac{R}{2}$ مع المقاومة الأولى على التوازي زادت شدة التيار إلى الضعف .
 احسب المقاومة الداخلية للعمود الكهربي بدلالة R .

$$R_1 = R \quad I_1 = I$$

$$V_B = I_1(R_1 + r)$$

$$R_2 = \frac{R \times \frac{R}{2}}{R + \frac{R}{2}} = \frac{\frac{R^2}{2}}{\frac{3R}{2}} = \frac{R^2}{3R} = \frac{R}{3}$$

$$\therefore V_B = 2I_1 \left(\frac{R}{3} + r \right)$$

$$I_1(R + r) = 2I_1 \left(\frac{R}{3} + r \right)$$

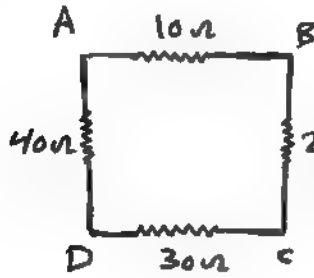
$$R + r = \frac{2R}{3} + 2r$$

$$r = R - \frac{2R}{3} = \frac{3R}{3} - \frac{2R}{3}$$

$$r = \frac{R}{3}$$

سوداير 2015

(14) الرسم المقابل يوضح أربع مقاومات متصلة
في شكل مربع ABCD



أ - ما النقطتين اللتين يجب توصيل البطارية
بهما ليمر تيار متساوي في جميع المقاومات؟

ب - احسب القوة الدافعة الكهربائية للبطارية .

(علماً بأن شدة التيار الخارج من كل مقاومة 0.25 A والمقاومة الداخلية $r = 1\Omega$)

* أ - النقطتين B ، D .

$$R = \frac{50 \times 50}{50 + 50} = 25\Omega \quad / \quad I = 2 \times 0.25 = 0.5\text{ A} \quad \text{ب -}$$

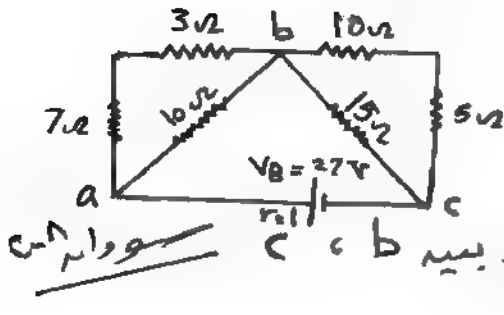
$$\therefore V_B = I(R + r)$$

$$V_B = 0.5(25 + 1) = 13\text{ V}$$

(15) في الدائرة الموضحة احسب : أ -

المقاومة الكلية الخارجية للدائرة .

ب - شدة التيار الكلي .



$$R = \left(\frac{15 \times 15}{15 + 15} \right) + \left(\frac{10 \times 10}{10 + 10} \right) = 7.5 + 5 = 12.5\Omega$$

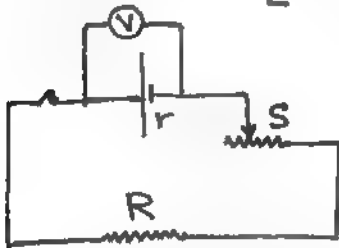
$$I = \frac{V_B}{R + r} = \frac{27}{12.5 + 1} = 2\text{ A}$$

$$V_{bc} = IR = 2 \times 7.5 = 15\text{ V}$$

تدريبات متنوعة :

① اكتب الإختصار المناسب لكل عبارة من عبارات الآتية :

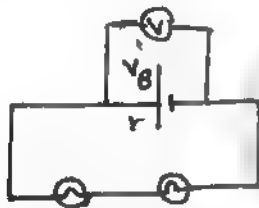
- ١- إذا كانت إلمة لمصدر كهربي تساوي 8 V فإنه فرق الجهد بين طرفيه في حالة مرور تيار كهربي في دائرته 8 V .
[يساوي - أقل منه - أكبر منه]



٢- في الدائرة الكهربية المقابلة :

عند زيادة المقاومة المتغيرة S

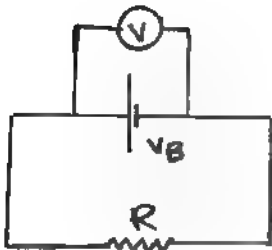
فإنه قراءة الفولتميتر [تزداد / تقل / تظل كما هي / تصل للصفر]



٣- في الدائرة الموضحة بالشكل :

إذا احترقت فتيلة أحد المصباحين

فإنه قراءة الفولتميتر [تزداد / تقل / لا تتغير / صفر]



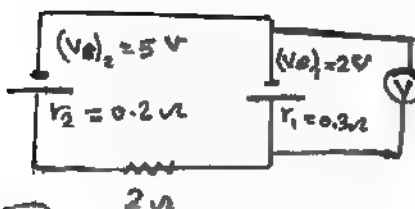
٤- في الدائرة المقابلة :

إذا كانت المقاومة الداخلية للبطارية $\frac{1}{4} R$ ،

فإنه قراءة الفولتميتر =

$$\left[\frac{4}{5} V_B / \frac{1}{5} V_B / \frac{5}{4} V_B / \frac{3}{5} V_B \right]$$

٥- في الدائرة التي أسماكت تكون قراءة الفولتميتر



$$\left[1.64\text{ V} / 2\text{ V} / 2.36\text{ V} / 7.64\text{ V} \right]$$

② ماذا نعني بقولنا أنه :

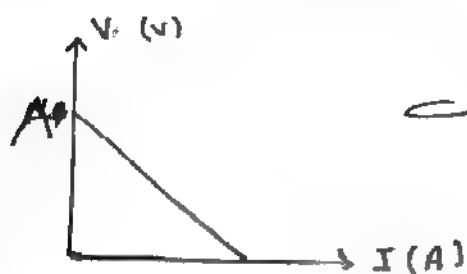
- ١- مقدار الشغل المبذول لنقل شحنة كهربائية قدرها $8C$ بين نقطتين في دائرة كهربائية $= 64J$.
- ٢- القوة الدافعة الكهربائية لمحود كاري $= 1.5V$.

③ على ما يأتي :

- ١- تساوى فرق الجهد بين قطبي عمود كاري مع قوى الدافعة الكهربائية في حالة عدم مرور تيار في دائرة .
- ٢- يزداد فرق الجهد بين قطبي بطارية عند زيادة مقاومة دائرة .
- ٣- القوة الدافعة الكهربائية لمحود كهربي أكبر منه فرق الجهد بين طرفي دائرة الخارجية عند غلق الدائرة .

④ أذكر مع الرسم قانون أوم للدائرة المغلقة . موضعاً العلاقة بين القوة الدافعة الكهربائية لبطارية ، وفرق الجهد بين قطبي البطارية .

⑤ متى يصبح فرق الجهد بين قطبي البطارية في الدائرة الكهربائية صفراً ؟



⑥ أكتب العلاقة الرياضية وما يساويه الميل
ثم أكتب ما تدل عليه النقطة A

مسائل

نقطة/دليل

١- سلك معدني طوله 30m ومساحته مقطعه 0.3cm^2 والمقاومة النوعية لمادته $5 \times 10^{-7}\Omega\cdot\text{m}$ وحمل على التوالي مع مقاومة مقدارها 8.5Ω وبطارية قوتها الدافعة الكهربائية 18V ومقاومتها الداخلية 1Ω . احسب شدة التيار الخارج للداثة $[1.8\text{A}]$

نقطة/دليل

٢- متاهمات $R_1 = 6\Omega$ ، $R_2 = 4\Omega$ وصلتا معاً على التوازي بمصدر كهربي قوته الدافعة الكهربائية 6V ومقاومته الداخلية 0.1Ω احسب:

- أ- شدة التيار الخارج للداثة $[2.4\text{A}]$
 ب- القدرة الكهربائية المستمدة من المصدر الكهربي $[14.4\text{W}]$
 ج- معدل الطاقة الكهربائية المستنفذة في R_1 وكذلك في R_2 $[5.63\text{W}$ و $8.29\text{W}]$

نقطة/دليل

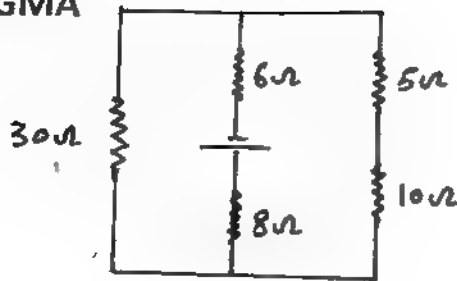
٣- سلكان متشابهان مصنوعان من نفس المادة طول كل منهما 50cm ومساحته مقطعيهما 2mm^2 وصلا معاً على التوالي في دائرة كهربائية مع عمود مقاومته الداخلية 0.5Ω فكانت شدة التيار الخارج للداثة 2A . وعندما وصلا نفس السلكين معاً على التوازي مع نفس العمود الكهربي كانت شدة التيار الكلي الخارج للداثة

- أ- احسب ١- 6A ٢- 9V $[9\text{V}]$
 ب- التوصيل الكهربائي لمادة السلك $[125 \times 10^3\Omega\cdot\text{m}]$

نقطة/دليل

٤- مرتين كهرتي شدة ٨ على أسبيري في سلك رفيع أ ب ، وعندما وصل معاً على التوازي سلك آخر له نفس الطول ومن نفس المادة لزم زيادة شدة التيار الخارج للداثة إلى ١٥ على أسبيري حتى ينطلق فرع أسبيري

SIGMA



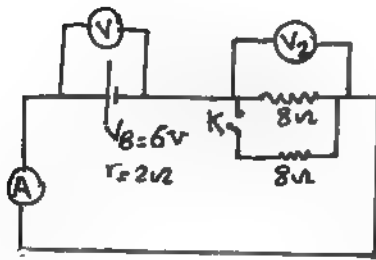
٥) من الدائرة الموضوعة بالرسم، احسب:

أ - المقاومة المكافئة للدائرة الخارجية.

ب - القوة الدافعة الكهربائية للمصدر.

علماً بأنه (شدة التيار الخارج من المقاومة 30Ω تساوي 1A و $r=2\Omega$)

[24Ω ، 78V]

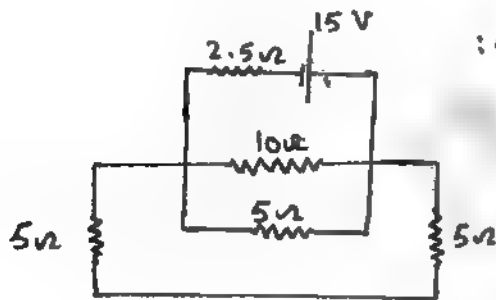


٦) من الدائرة الكهربائية الموضوعة بالشكل

أوجد قراءة كل من A ، V_1 ، V_2 في الخلقية:

أ - المفتاح K مفتوح ب - المفتاح K مغلق

[0.6A / 4.8V / 4.8V / 1A / 4V / 4V]

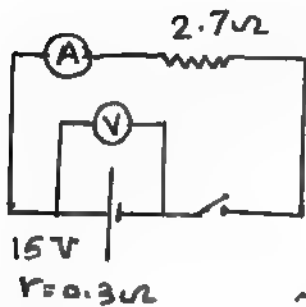


* ٧) من الدائرة الكهربائية الموضوعة بالشكل احسب:

أ - قيمة المقاومة المكافئة في الدائرة.

ب - شدة التيار المتدفق الخارج من الدائرة.

ج - فرق الجهد بين النقطتين a ، b



٨) في الشكل المقابل . دائرة كهربائية تتكون من بطارية 15V

مقاومتها الداخلية 0.3Ω ، تتصل بمقاومة 2.7Ω

! حسب قراءة الفولتميتر في الحالات الآتية:

أ - المفتاح K مفتوح ، بفرض أن مقاومة الفولتميتر لا نهائية

ب - المفتاح K مغلق .

[15V ، 13.5V]

٩) وصلت المقاومات 10Ω ، 20Ω ، 40Ω مع مصدر كهربائي . بيده بالرسم كيف يمكن

توصيل هذه المقاومات ليمر تيار شدته 0.4A ، 0.5A ، 0.1A في هذه

المقاومات على الترتيب . ثم اوضح كيف ليس للمصدر بفرض أنه $r=2\Omega$

[15V]

SIGMA

(10)* عيّنت المقاومة الأومية لعدة أسلاك من معدن ما ، طول كل منها 12m ومختلفة في مساحة المقطع فكانت النتائج كالآتي :

مايو ٩٤

$R \Omega$	6	7.5	10	15	23	30
$\frac{1}{A} \times 10^6 \text{ m}^{-2}$	2	2.5	3.3	5	7.7	10

٢- ارسم العلاقة البيانية بين مقاومة السلك R على المحور الرأسي ومقلوب المساحة $\frac{1}{A}$ على المحور الأفقي .

ب- من الرسم أوجد : ١- مقاومة سلك من نفس المادة وله نفس الطول ومساحة مقطعه 0.0025 cm^2

٢- المقاومة النوعية لمادة السلك

$$[12 \Omega \quad 6 \quad 0.25 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}]$$

(11) من تجربة لتعيين مقاومة مجهولة باستخدام قانون أوم لكل من السلكين A ، B أخذت القراءات الآتية :

السلك A

$V (V)$	0.5	1	1.5	2
$I (A)$	0.25	0.5	0.75	1

السلك B

$V (V)$	0.6	0.9	1.2	1.8
$I (A)$	0.2	0.3	0.4	0.6

(٢) ارسم العلاقة البيانية بين فرق الجهد V على المحور الرأسي ، شدة التيار I على المحور الأفقي لكل من السلكين بعض مقياس الرسم موضعاً العلاقات الأولى بالحرف A والثانية بالحرف B .

(ب) من الرسم البياني استنتج أي سلك يكون أكبر مقاومة؟ ولماذا؟

(ج) إذا كان السلكان A ، B من نفس المادة ولهما نفس الطول

ولكنه مختلف قطرها ، أذكر أيهما أكبر سمكاً ، ولماذا؟

* قانونا كيرشوف

أهمية قانونا كيرشوف : تحليل وتبسيط الدوائر الكهربائية المعقدة المكونة من عدة فروع. التي يصعب تطبيق قانون أوم عليها باختلاف حدة التيار الخارج من كل فرع .

قانون كيرشوف الأول

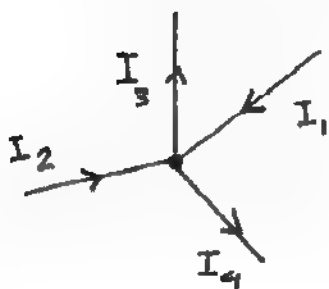
بمجموع التيارات الداخلة عند نقطة من دائرة كهربائية مغلقة يساوي مجموع التيارات الخارجة منها.

أو المجموع الجبري للتيارات عند نقطة من دائرة مغلقة يساوي صفر.

* يستخدم لقانونه الأول كيرشوف في دوائر التوازن لوجود نقاط تفرع وتوزيع للتيار.

* لا يشترط الموصل أثناء مرور التيار الكهربائي فيه. "لأنه أسلاك لا يمكنه أن تتراكم من نقطة معينة عبر الدائرة بل تتحرك باستمرار خلالها".

* الصيغة الرياضية لقانون كيرشوف الأول



$$\sum I = 0$$

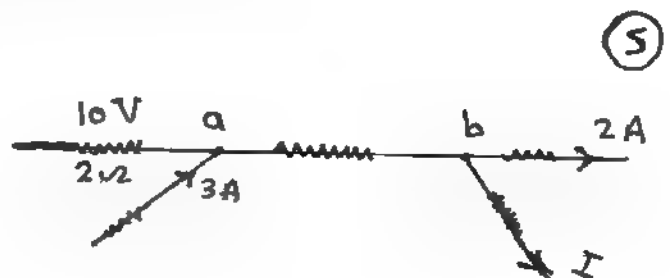
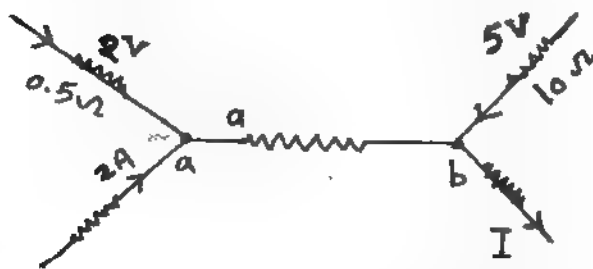
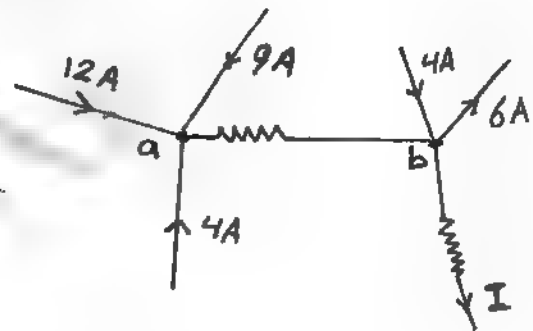
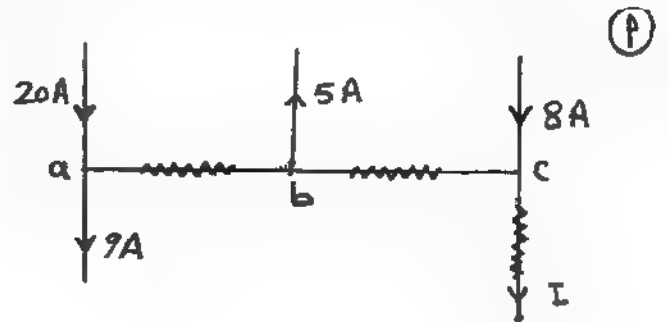
$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0$$

(19)

* عند نقطة التفرع [التيار الداخل للنقطة إشارته موجبة + بينما التيار الخارج من النقطة إشارته سالبة -]

* أشرطة
① أوجد قيمة I الجول في كل شكل منها :



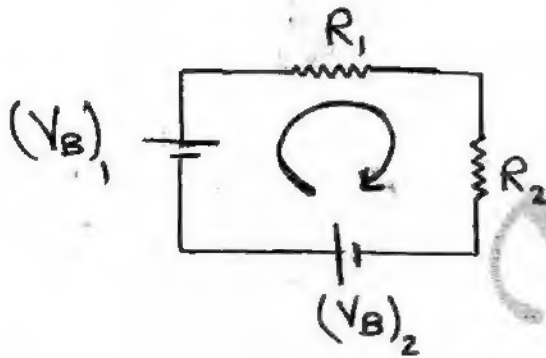
القانون الثاني لكيرشوف

المجموع الجبري للقوى الدافعة الكهربائية في دائرة مغلقة يساوي المجموع الجبري لفروء الجهد في الدائرة .

أو المجموع الجبري لفروء الجهد الكهربائي في مسار مغلق يساوي صفراً .

* الصيغة الرياضية لقانون كيرشوف الثاني

$$\sum V_B = \sum IR$$



$$(V_B)_1 + (V_B)_2 = IR_1 + IR_2$$

$$(V_B)_1 + (V_B)_2 - IR_1 - IR_2 = 0$$

$$\sum V = 0$$

* يظهر القانون الثاني لكيرشوف على عدة مسارات مغلقة .

* يعتبر القانون الثاني لكيرشوف تطبيقاً لقانون بقاء الطاقة .

* يراعى تطبيق قاعدة الإشارات عند تطبيق قانون كيرشوف الثاني

$$\sum V_B = \sum IR$$

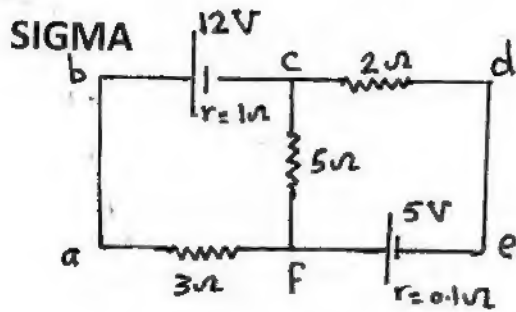
الذي فرضناه هو نفس اتجاه التيار المار من مقاومة ما . فانه

فيمت فرء الجهد ببيء طرفي هذه المقاومة يكون موجب (والعكس) .

(51)

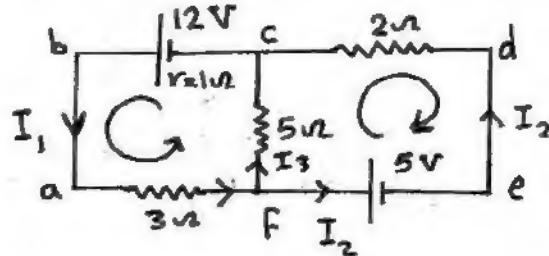
* اذا افترضنا انه المسار من القطب الموجب للسالب خارج المصدر (منه

السالب للموجب داخل المصدر) - فانه فيمت V_B موجب . والعكس .



① احسب شدة التيار الكهربي في كل فرع في الدائرة الموضحة بالرسم المقابل.

* نفترض اتجاهات التيارات وكذلك المسارات. كما بالشكل الآتي :-



بتطبيق قانون كيرشوف الأول عند النقطة f

① $I_1 = I_2 + I_3$

* في الجزء a b c f بتطبيق قانون كيرشوف الثاني:

① $12 = 1 I_1 + 3 I_1 + 5 I_3$

② $5 = 5 I_3 - 2 I_2$ وفي الجزء c d e f

من المعادلة ① وبالتعويض في ② $I_2 = I_1 - I_3$

$\therefore 5 = 5 I_3 - 2 (I_1 - I_3)$

$5 = 5 I_3 - 2 I_1 + 2 I_3$

ونصبح المعادلة ② $5 = 7 I_3 - 2 I_1$

① $12 = 5 I_3 + 4 I_1$

$10 = 14 I_3 - 4 I_1$

نضرب ② × 2

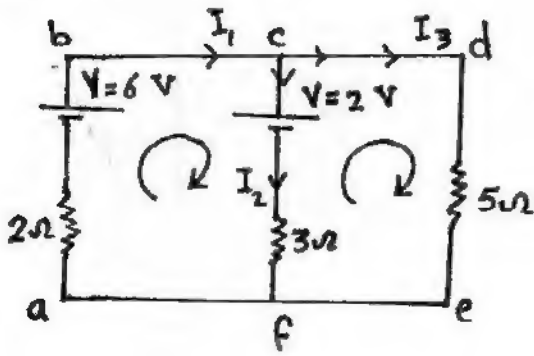
بالمجموع

$22 = 19 I_3$

$I_3 = \frac{22}{19} = 1.16 A$

بالتعويض في ② $5 = 5(1.16) - 2 I_2 \therefore I_2 = 0.4$

بالتعويض في ① $I_1 = 0.4 + 1.16 \therefore I_1 = 1.5 A$



٥٣ في الدائرة الموضحة بالشكل القابل
للمرور:

أ- شدة التيار الخارج من كل فرع .

ب- فرق الجهد بينه نقطتيه a و b .

* نفترض الاتجاهات للتيارات والمسارات G.

$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$\therefore 6 - 2 = 3I_2 + 2I_1$$

$$4 = 3I_2 + 2I_1 \quad \text{--- (1)}$$

$$2 = 5I_3 - 3I_2$$

$$2 = 5(I_1 - I_2) - 3I_2$$

$$2 = 5I_1 - 8I_2 \quad \text{--- (2)}$$

بضرب 3 X (2) وضرب 8 X (1)

$$32 = 24I_2 + 16I_1$$

$$6 = -24I_2 + 15I_1$$

$$38 = 31I_1$$

بالجمع

$$\therefore \underline{I_1 = 1.22 \text{ A}}$$

بالتعويض من (1)

$$2 = 5(1.22) - 8I_2$$

$$2 = 6.1 - 8I_2$$

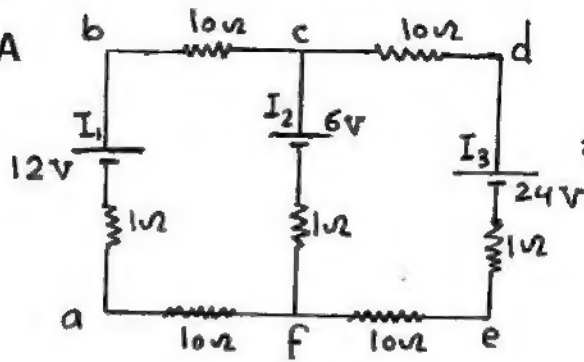
$$\therefore \underline{I_2 = \frac{2 - 6.1}{-8} = 0.51 \text{ A}}$$

$$I_3 = I_1 - I_2 = 1.22 - 0.51$$

$$\underline{I_3 = 0.71 \text{ A}}$$

(53)

$$V_{ab} = 6 - IR_{2\Omega} = 6 - (1.22 \times 2) = 3.56 \text{ V}$$



③ احسب شدة التيار في الدائرة الموضحة من الشكل المقابل.

نفسر اتجاهات التيارات والمسارات

* بتطبيق قانون كيرشوف الذول عند النقطة (C) $I_1 + I_3 = I_2$ — ①

* بتطبيق قانون كيرشوف الجاف على المسار abcfa

$$12 - 6 = (1 + 10 + 10) I_1 + I_2$$

$$\therefore 6 = 21 I_1 + I_2 \rightarrow ②$$

وعلى المسار fedcf $24 - 6 = (1 + 10 + 10) I_3 + I_2$

$$\therefore 18 = 21 I_3 + I_2 \rightarrow ③$$

من ① $\therefore 18 = 21(I_2 - I_1) + I_2$

$$\therefore 18 = 22 I_2 - 21 I_1 \rightarrow ④$$

نجمع ② و ④ $\therefore 24 = 23 I_2$

$$\therefore I_2 = 1.04 A$$

بالتعويض في ③

$$\therefore 18 = 21 I_3 + 1.04$$

$$\therefore I_3 = \frac{17.04}{21} = 0.81 A$$

بالتعويض في ①

$$I_1 = I_2 - I_3$$

$$\therefore I_1 = 1.04 - 0.81$$

$$\therefore I_1 = 0.23 A$$